



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Rapport om vandføring i Nedre Ry Å

Burcharth, Hans F.

Publication date:
1975

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Burcharth, H. F. (1975). *Rapport om vandføring i Nedre Ry Å*. Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Michael Ersoy

RAPPORT OM VANDEFØRING I NEDRE RY Å

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER DANMARKSGADE 19 AALBORG DANMARK

AALBORG UNIVERSITETSCENTER

INSTITUTTET FOR ANLÆGSKONSTRUKTIONER OG MILJØTEKNIK

Danmarksgade 19 9000 Aalborg Danmark telefon (08) 160533

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING

Ingeniørdocent H. F. Burcharth

RAPPORT OM VANDFØRING I NEDRE RY Å

MARTS 1975

INDHOLDSFORTEGNELSE:

1. Indledning	side	1
2. Bogstavssymboler	side	2
3. Konklusion	side	3
4. Nedre Ry Å's hydrografi	side	4
4.1 Vandstandsvariationer	side	4
4.2 Saltvandsindtrængning	side	5
4.3 Hastighedsprofiler ved Gøl Bro	side	6
5. Udførte målinger	side	7
5.1 Beskrivelse af udførte målinger	side	7
5.2 Bearbejdning af måledata fra Gøl Bro	side	8
5.3 Bearbejdning af måledata ved Manna Bro	side	8
6. Kontinuitetsligningens anvendelse på Nedre Ry Å	side	10
6.1 Opstilling af kontinuitetsligning	side	10
6.2 Beregning af saltvandsvandføring ved Gøl Bro	side	11
6.3 Beregningsprocedure ved konstant middelvandstand	side	12
6.4 Beregningsprocedure ved variabel middelvandstand	side	13
6.5 Beregnede vandføringer og afstrømninger	side	14
6.6 Beregning af ugemidler af vandføring og afstrømning ved Gøl Bro	side	16
7. Bilag		
8. Referencer		

1. Indledning

Herværende rapport er udarbejdet i forbindelse med Limfjordsundersøgelsen i henhold til skrivelse af 20. august 1973 fra Det Danske Hedeselskab, Hydrometrisk afdeling, Slagelse, hvorefter laboratoriet anmodes om at undersøge de hydrauliske forhold i de nederste dele af åløbene, hvor påvirkning fra vandstandsændringer i Limfjorden kan forekomme, idet der lægges særlig vægt på forholdene i Ry Å.

Laboratoriet har tidligere (dateret 4. marts 1974) fremsendt rapport vedrørende afstrømningsforholdene i de nedre dele af Lindborg Å og Hasseris Å.

De i denne rapport omtalte undersøgelser er et led i de undersøgelser, som har til formål at skaffe grundlag for kalibrering af den matematiske, endimensionale transport-diffusionsmodel, som beskriver, hvorledes stoftransporten i Limfjorden finder sted. Opstilling og kalibrering af denne model henhører under Dansk Hydraulisk Institut.

Man skal gøre opmærksom på, at undersøgelsen oprindeligt havde til formål at bestemme døgnmidler for ferskvandstilførslen til Limfjorden, men dette er siden fra DHI ændret til kun at omfatte ugemidler.

2. Bogstavssymboler

A	gennemstrømmet tværsnit i åen.
A_M	Ry Å's topografiske oplandsareal ved Manna Bro.
A_G	Ry Å's topografiske oplandsareal ved Gøl Bro.
$A_{G\text{øl Bæk}}$	Gøl Bæks totale oplandsareal.
$D.V.$	dagligt vande.
F_1, F_2	regningsmæssige magasinoverfladearealer.
h_G	vandstand ved Gøl Bro, målt på vandstandspæl.
$h_{G,t}$	vandstand ved Gøl Bro til tiden t .
h_{Limfjord}	vandstand i Limfjorden målt ved Aalborg Havn.
\overline{h}_{13}	middelvandstand beregnet som 13 timers glidende gennemsnit.
$\overline{h}_{13,t}$	ovenstående middelvandstand til tiden t .
I	energiliniegradient.
I_o	bundhældning.
M	Manningtal.
m_S	salttransport ved Gøl Bro. Positiv udad.
q_G	afstrømningsintensitet for Ry Å's opland ved Gøl Bro.
q_M	afstrømningsintensitet for Ry Å's opland ved Manna Bro.
Q	vandføring.
Q_F	ferskvandsvandføring ved Gøl Bro. Positiv udad.
Q_S	saltvandsvandføring ved Gøl Bro. Positiv udad.
Q_G	total vandføring ved Gøl Bro. Positiv udad.
Q_i	delvandføring til Ry Å mellem Manna og Gøl Bro.
Q_M	vandføring ved Manna Bro.
$Q_M + \sum Q_i$	afstrømning fra Ry Å's opland ved Gøl Bro.
R	hydraulisk radius.
S_b	saltholdighed i bundlag ved Gøl Bro.
t	tid.
T	midlingstidsrum.
X	magasinvolumen mellem Manna og Gøl Bro.
—	streg over en størrelse betyder tidsmiddel.

3. Konklusion

Af de udførte målinger og beregninger kan man slutte, at ugemidler af afstrømningsintensiteterne for henholdsvis Manna Bro's og Gøl Bro's oplande med god tilnærmelse kan antages at være ens.

Endvidere kan man ved Gøl Bro antage, at ugemiddel af saltvandsvandføringen $\overline{Q_S}$ er ubetydelig i forhold til ugemiddel af ferskvandsvandføringen $\overline{Q_F}$.

Endelig kan man slutte, at evt. magasinering i åsystemet selv på ugebasis påvirker størrelsen af $\overline{Q_F}$ ved Gøl Bro mærkbart, samt at disse ændringer i magasineringen med god tilnærmelse kan bestemmes ud fra midelvandstandsændringer i Limfjorden sammen med et regningsmæssigt magasinoverfladeareal fundet ved undersøgelserne.

4. Nedre Ry Å's hydrografi

Nedre Ry Å er den del af Ry Å, der ligger mellem Manna Bro og munden ved Limfjorden. Om Nedre Ry Å's topografi henvises generelt til [1], idet der dog på bilag 1 findes en skitse af Nedre Ry Å med tilhørende afstrømningsområde.

4.1 Vandstandsvariationer

Vandstandsvariationerne i Nedre Ry Å afhænger stærkt af vandstandsvariationerne i Limfjorden, dels fordi åens fald er ringe (0,05-0,10 o/oo), dels fordi åen er kraftigt uddybet, således at bunden først når kote 0 ca. 25 km fra munden.

Vandstandsvariationerne i Limfjorden skyldes dels ændringer i middelvandstanden (vindstuvning) dels den på middelvandstanden overlejlrede tidevandsbevægelse. Ved Aalborg Havn kan middelvandstanden (beregnet som 13 timers glidende gennemsnit) variere mellem ca. +1,2 m og -0,5 m og tidevandsamplituden er i gennemsnit ca. 14 cm, idet den varierer mellem ca. 9 cm og ca. 19 cm i løbet af en 14-dages periode.

Af [1] kan ses, at ændringer i middelvandstanden i Limfjorden hele året forplanter sig praktisk taget usvækket op gennem en meget stor del af Nedre Ry Å, idet ændringerne i middelvandstand i Limfjorden ved Gøl Bro (0,8 km oppe) og ved Toftegårds Bro (17,5 km oppe) med god tilnærmelse er lige store. Også ved Alstrup Bro (24 km oppe) registreres ændringer i middelvandstanden, men dog ikke lige så store som ved de to førstnævnte broer.

Derimod dæmpes tidevandsamplituderne, når tidevandsbevægelsen forplanter sig fra Limfjorden gennem Nørredyb til Gøl Bro og videre op gennem åen. Ifølge [1] samt egne målinger er tidevandsamplituden ved Gøl Bro i gennemsnit ca. 64% af tidevandsamplituden i Limfjorden, og dæmpningen er stort set uafhængig af årstiden.

Opstrøms for Gøl Bro afhænger dæmpningen af grødens størrelse og dermed af årstiden.

Uden for grødeperioden er tidevandsamplituderne ved Toftegårds Bro ca. 85% af tidevandsamplituderne ved Gøl Bro, og ved Alstrup Bro kan tidevandet stadig spores omend svagt.

Indenfor grødeperioden dæmpes tidevandet væsentligt i åen og i august er amplituden ved Toftegårds Bro kun ca. 20% af amplituden ved Gøl Bro.

I [1] kan ses, at tidevandsbevægelserne og ændringerne i middelvandstanden i gennemsnit er ca. 2 timer om at forplante sig fra Aalborg Havn til Gøl Bro uafhængigt af årstiden. Videre op i åen varierer forplantningstiden fra Gøl Bro til Toftegårds Bro mellem ca. $1\frac{1}{2}$ til 3 timer, størst i grødeperioden.

4.2 Saltvandsindtrængning

Som angivet i [1] dannes der ofte i Nedre Ry Å en saltvandskile, der bevæger sig frem og tilbage afhængig af vandstanden og saltholdigheden i Limfjorden og af vandføringen i åen. I [1] skønnes, at saltvandskilen maksimalt kan strække sig ca. 10 km op i åen (ved min. vandføring og max. vandstand i Limfjorden) samt at saltvandskilen i ekstreme afstrømnings-situationer vil forsvinde helt.

Egne målinger viste den 22.4.74, at der ved måleperiodens start kun var en meget tynd saltvandskile, som forsvandt i løbet af måleperioden.

I august 1974 viste målingerne, at bundlaget (saltvandskilen) typisk havde en tykkelse på 1,5 m - 2,0 m ved Gøl Bro (total dybde ca. 2,6 m) samt at dette lag havde en saltholdighed på ca. 20 o/oo, der gennem springlaget på ca. 0,4 m aftog til ca. 3-5 o/oo, hvilket var overfladevandets saltholdighed. Se bilag 8 og 9. Der var dog det meste af tiden også små saltgradienter i bund- og overfladelag. Endvidere viste målingerne, at alene tidevandsbevægelserne bevirkede så store hastigheder i bundlaget (se bilag 8 og 9), at strømmingen i dette blev turbulent og opblandingen mellem fersk- og saltvand skete således både ved medrivning samt ved turbulent diffusion gennem springlaget. Som nævnt var springlagets tykkelse i sommerperioden ofte ca. 0,4 m, men opblandingen kunne være så stærk, at der på relativt kort tid (10 timer) blev dannet et nærmest retlinet saltholdighedsprofil ved Gøl Bro. Se bilag 8.

Den 18.12.1974 viste vore målinger, at saltvandskilen kunne dannes ved højvandssituationer, samt at opblandingen ligesom i august foregik ved både medrivning og turbulent diffusion. Tykkelsen af bundlaget ved Gøl Bro havde kun en tykkelse på 0,5 - 1,25 m, og da optrængningslængden i åen måtte være mindre end om sommeren dels på grund af bundlagets mindre tykkelse dels på grund af overfladelagets større hastighed, påvirkede opblandingen kun overfladevandets saltholdighed meget lidt. Tykkelsen af springlaget var også denne dag ca. 0,4 m. Se bilag 9.

På grundlag af ovenstående målinger kan derfor slutes, at om sommeren er ændringerne i saltvandskilen normalt små, hvorimod saltvandskilen må forventes at kunne forsvinde i længere perioder om vinteren.

Udenfor munden af Ry Å findes en barre med topkoten ca. -1,25 m. En analyse af, i hvilket omfang denne barre påvirker saltvandsindtrængningen i åen, er ikke gennemført.

4.3 Hastighedsprofiler ved Gøl Bro

Hastighedsprofilernes udseende ved Gøl Bro er stærkt sæsonafhængige.

I sommerperioden er ferskvandsvandføringen ved Gøl Bro som regel så lille, at selv tidevandspåvirkningen bevirker indadgående strømhastigheder i både overfladelag og bundlag, og i begge lag er strømhastighederne så store, at strømmingen bliver turbulent. Se bilag 8. I denne periode er hastighedsfordelingen i bundlaget så kraftigt domineret af tidevandsbevægelsen, at det kan være svært ved Gøl Bro at erkende kompensationsstrømmen, der skal erstatte det saltvand, som fjernes ved medrivning i opblandingsprocessen. Iøvrigt er det i denne periode ret vanskeligt at finde en nøjagtig ferskvandsvandføring ved Gøl Bro på grund af den store opblanding.

I vinterperioden er ferskvandsvandføringen ved Gøl Bro så stor, at overfladevandet hele tiden løber udad, måske undtagen i ekstreme stuvningssituationer. Se bilag 9. Da der også i denne periode finder en betydelig opblanding sted samtidig med, at bundlaget er ret tyndt ved Gøl Bro, erkendes kompensationsstrømmen tydeligt der. Se bilag 9.

5. Udførte målinger

5.1 Beskrivelse af udførte målinger

Undersøgelsen kom til at omfatte fem måleperioder, hver på ca. 13 timer (~ 1 tidevandsperiode), hvor følgende målinger blev foretaget:

- 1) Manuel måling af vandstanden ca. hver time på vandstandspæl (se bilag 1) ved Gøl Bro.
- 2) Måling af hastighedsprofiler hver 2. time i 6 vertikaler ved Gøl Bro (se bilag 1).
- 3) Måling af salinitetsprofiler i 6 vertikaler hver 2. time ved første måleperiode, og i 1-2 vertikaler i de følgende måleperioder, da det viste sig, at saltholdigheden var praktisk taget konstant i vandrette planer.
- 4) Måling af hastighedsprofiler i 6 vertikaler ved Manna Bro 1 gang for hver måleperiode. Hvis nødvendigt (tidshensyn) blev denne måling foretaget 1 dag før (eller efter) målingen ved Gøl Bro.
- 5) Måling af vandstand i Limfjorden på Aalborg Havns selvregistrerende vandstandsmåler i Østre Havn.

Hastighedsmålingerne blev foretaget med OTT-vingemåler NR 18578 og saltholdighederne målt med et Elektronisk Switchgear, Salinity Temperature Bridge Type MC 5.

Da kontinuitetsligningen skulle anvendes, burde der, for at opnå maksimal nøjagtighed, også have været observeret vandstandsændringer i åen flere steder opstrøms for Gøl Bro til bestemmelse af magasineringen, men dette lod sig ikke gøre af økonomiske og tidsmæssige grunde. I stedet udnyttedes, at middelvandstandsændringerne forplantede sig næsten uændret gennem hele Nedre Ry Å, samt at magasineringen i åsystemet på grund af tidevandspåvirkning tilnærmet viste sig at kunne beskrives med et konstant regningsmæssigt magasineringsoverfladeareal sammen med vandspejlsændringerne observeret ved Gøl Bro.

Derfor indhentes fra Aalborg Havn data fra vandstandsvariationerne i Limfjorden ved Østre Havn, og disse data benyttedes så til at beregne middelvandstandsændringerne omkring hver af de 5 måleperioder, idet middelvandstandene blev beregnet som 13 timers glidende gennemsnit. Se bilag 2. I [1] er anvendt vandstande fra Amtsvandvesenets måler ved DAC, men da der kun konstateredes meget små afvigelser mellem de to nævnte vandstandsmålere, valgtes at benytte måleren ved Østre Havn på grund af dennes større tromlehastighed.

5.2 Bearbejdning af måledata fra Gøl Bro

Ud fra målingerne ved Gøl Bro beregnedes henholdsvis totalvandføringen (saltvand + ferskvand) Q_G m³/s og salttransporten m_S kg salt/sek i hver af de fem måleperioder, hvorefter Q_G , m_S og h_G (vandstanden målt på vandstandspæl ved Gøl Bro) blev optegnet som funktion af tiden i hver måleperiode. Se bilagene 3-7. Da de i afsnit 6.1-6.5 nævnte beregninger kun forudsætter, at ændringerne i h_G er kendt nøjagtigt, blev vandstandspælen ved Gøl Bro ikke nivelleret ind. For alligevel at kunne bedømme, hvor en given vandstand aflæst på vandstandspælen lå i forhold til D.V. ved Gøl Bro, fandtes ved at sammenligne samhørende målinger af h_G og vandstande i Limfjorden, at $h_G = \text{ca. } 67 \text{ cm}$, når der var D.V. i Limfjorden og dermed også D.V. ved Gøl Bro.

I forbindelse med ovennævnte optegning af Q_G , m_S og h_G kontrolleredes forudsætningen om ens ændringer i middelvandstanden ved Gøl Bro og i Limfjorden (Østre Havn) bl.a. ved at undersøge dæmpningen af vandstandsamplituderne mellem Limfjorden og Gøl Bro samt ved at undersøge, om højvandet og lavvandet nåede Gøl Bro med samme forsinkelse i forhold til Limfjorden. Størrelsen $h_G - h_{\text{Limfjord}}$ beregnedes også for sammenhørende ekstremværdier (højvande og lavvande).

Det blev derved klart, at den 15.8.1974 var dæmpningen af vandstandsamplituden mellem Limfjorden og Gøl Bro ca. 50% i modsætning til de normale ca. 64%. Endvidere var lavvandet ved Gøl Bro lidt mere forsinket end højvandet. Middelvandstanden ved Gøl Bro måtte derfor den 15.8.1974 antages at være tilnærmet konstant i stedet for svagt faldende som i Limfjorden, fordi lavvandet midt på dagen ikke var så kraftigt ved Gøl Bro som i Limfjorden.

Endelig kunne forsinkelserne af vandstandsændringerne bestemmes ved at sammenligne afbildningerne af h_G og h_{Limfjord} .

5.3 Bearbejdning af måledata ved Manna Bro

For hver måleperiode blev der beregnet en døgnmiddelvandføring ved Manna Bro ved anvendelse af de målte vandføringer (se bilag 10) og vandstandskurven fra Nordjyllands Amtsyvandvæsens selvregistrerende vandstandsmåler ved Manna Bro.

Ovennævnte beregninger byggede på antagelsen at $Q = A \cdot V = A \cdot M \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0}$, d.v.s. Manning-formlen gyldig med $I = I_0 = \text{bundhældningen}$. Symbolerne er de sædvanligt anvendte. Metoden blev anvendt, fordi vore målinger ved Manna Bro den 12.8.1974 og den 14.8.1974 gav vandføringer, der begge lå ca. 15% (200 l/s) under de af Hedeselskabet opgivne, foreløbige vandføringer. Sammen med Hedeselskabets måling den 19.8.1974 ved Manna Bro, kunne ovennævnte formel benyttes til at beregne værdier af Manningtallet, og der fandtes værdierne henholdsvis 8,41, 8,64 og 8,35. Med en afvigelse på mindre end ca. 2% kunne Manningtallet i perioden 12.8.1974 - 19.8.1974 derfor sættes til $M = 8,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, og vandføringen i perioden 9.8. - 22.8. blev dernæst beregnet på grundlag af registreret vand-

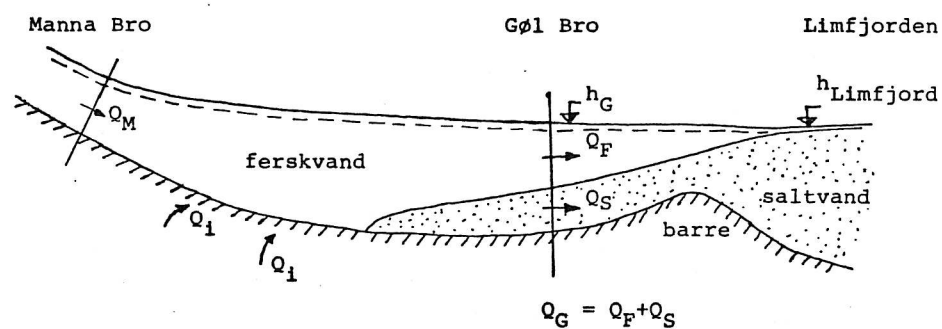
stand og ovennævnte formel. Se bilag 10.

Den 22.4.1974 og den 19.12.1974 (d.v.s. uden for grødeperioden) afveg de målte vandføringer kun ca. 3% fra de af Hedeselskabet opgivne værdier.

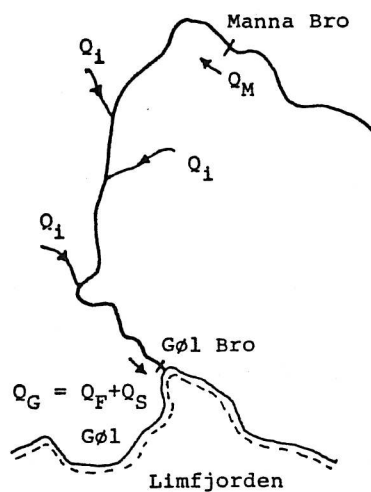
6. Kontinuitetsligningens anvendelse på Nedre Ry Å

6.1 Opstilling af kontinuitetsligning

Skematisk længdesnit:



Skematisk plan:



Kontinuitetsligningen anvendt mellem Manna Bro og Gøl Bro:

$$Q_M + \sum Q_i = Q_G + \frac{dX}{dt}$$

(1)

hvor Q_M er vandføringen ved Manna Bro

$\sum Q_i$ er den samlede vandføring fra grundvand og fra tilstødende åer og kanaler mellem de to broer.

$Q_M + \sum Q_i$ er således afstrømningen fra oplandet svarende til Gøl Bro.

Q_G er den totale vandføring ved Gøl Bro

X er magasinvolumenet mellem Manna Bro og Gøl Bro.

Integreres kontinuitetsligningen over tidsrummet T findes:

$$\frac{1}{T} \int_0^T (Q_M + \sum Q_i) dt = \frac{1}{T} \int_0^T Q_G \cdot dt + \frac{1}{T} \int_0^T \frac{dX}{dt} dt \quad \Leftrightarrow$$

$$\overline{Q_M + \sum Q_i} = \overline{Q_G} + \frac{1}{T} [X]_0^T = \overline{Q_G} + \frac{1}{T} [X_T - X_0] \quad (2)$$

idet en streg over en størrelse betyder tidslig middelværdi.

På grund af saltvandskilens tilstedeværelse består Q_G både af en ferskvandsvandføring Q_F , og af en saltvandsvandføring Q_S , således at

$$Q_G = Q_F + Q_S \quad (3)$$

og en tidslig midling som ovenfor giver derfor:

$$\overline{Q_G} = \overline{Q_F} + \overline{Q_S}$$

For at finde ferskvandsvandføringen $\overline{Q_F}$ ved Gøl Bro, må man således først finde $\overline{Q_G}$ og $\overline{Q_S}$.

$\overline{Q_G}$ kan måles og beregnes direkte, hvilket $\overline{Q_S}$ desværre ikke kan.

6.2 Beregning af saltvandsvandføring ved Gøl Bro

For at bestemme $\overline{Q_S}$ må man først beregne middelværdien $\overline{m_S}$ af salttransporten ved Gøl Bro samt have kendskab til saltholdigheden af det indadgående saltvand.

Hvis det vides, at den indadgående salttransport alene finder sted i bundlaget med konstant saltholdighed S_b o/oo, hvorimod den udadgående salttransport kan foregå i både bundlag og overfladelag efter opblanding, så kan det slutes, at

$$\overline{Q_S} = \frac{\overline{m_S}}{S_b} \quad (\overline{m_S} \text{ positiv ved transport udad})$$

idet 1 m³ saltvand med saltholdighed S_b o/oo med god tilnærmelse indeholder S_b kg salt, og fordi det vides med sikkerhed, at saltet, der registreres i $\overline{m_S}$, kun kan komme fra saltvand med saltholdigheden S_b o/oo uanset om der har fundet opblanding sted, da S_b er konstant i tiden.

Ovennævnte situation findes ved Gøl Bro om vinteren, dog med den forskel, at S_b ikke er konstant i tiden. Som det ses af bilagene 8 og 9 foregår en stor del af den udadgående salttransport i og over springlaget. Da selve opblandingsprocessen ikke er kendt i detaljer, vides derfor ikke, hvis S_b varierer, hvilken saltholdighed, der skal anvendes sammen med en målt \overline{m}_S -værdi for at finde den tilsvarende saltvandsvandføring. Normalt varierer S_b dog ikke ret hurtigt og der anvendes derfor den værdi af S_b , der måles samtidig med \overline{m}_S . Selv om dette skøn eventuelt skulle ligge f.eks. 2 o/oo fra den korrekte værdi, medfører det kun en fejlvurdering af \overline{Q}_S på ca. 10%.

Helt så simpelt er det ikke om sommeren, hvor der også kan finde indadgående salttransport sted i overfladelaget. Dette skyldes, at overfladelaget kan have en væsentlig saltholdighed samt have ret store indadgående hastigheder, der som nævnt skyldes tidevandspåvirkningen. Da saltet i overfladelaget imidlertid er kommet fra bundlaget, kan man som før slutte, at

$$\overline{Q}_S = \frac{\overline{m}_S}{S_b}$$

Også her skal man huske på, at S_b ikke er konstant i tiden, men som en tilnærmelse for S_b anvendes værdien, der måles samtidig med \overline{m}_S .

6.3 Beregningsprocedure ved konstant middelvandstand

Hvis der ingen ændringer er i middelvandstanden \overline{h}_{13} i måleperioden, antages at magasineringen er nul, når vandstanden ved Gøl Bro i løbet af tidsrummet T igen når startværdien, d.v.s. $X_T = X_O$ når $h_{G,T} = h_{G,O}$.

Derefter kan \overline{Q}_G findes i dette tidsrum ud fra vandføringskurven, og dermed kan også $\overline{Q}_M + \sum Q_i$ findes af ligning (2).

Da det kan iagttages, at Q_G og $\frac{dh_G}{dt}$ er faseforskudt ca. 90° tyder det på, at man kan sætte $\frac{dX}{dt} = F_1 \cdot \frac{dh_G}{dt}$, hvor F_1 er et regningsmæssigt magasinoverfladeareal. Indføres denne antagelse i ligning (1) får man:

$$Q_M + \sum Q_i = Q_G + F_1 \cdot \frac{dh_G}{dt} \quad (4)$$

Derved kan Q_G opfattes som summen af afstrømningsvandføringen og en magasineringsvandføring ($- F_1 \frac{dh_G}{dt}$).

Hvis ligning (4) benyttes 2 gange med indsættelse af sammenhørende værdier af Q_G og $\frac{dh_G}{dt}$, kan der derved opstilles 2 ligninger med kun 2 ubekendte $Q_M + \sum Q_i$ og F_1 , idet de to tidspunkter, hvor ligning (4) anvendes, skal ligge så tæt, at $Q_M + \sum Q_i$ kan antages at være konstant.

Indenfor en 13-timers måling er der normalt kun mulighed for at opnå 3

sæt brugelige sammenhørende værdier af Q_G og $\frac{dh_G}{dt}$, idet disse sammenhørende værdier af nøjagtighedshensyn skal bestemmes på tidspunkter,

hvor vandstandskurven er tilnærmet retlinet. Da $\frac{dh_G}{dt}$ helst skal have modsat fortegn i de to ligninger for at opnå tilfredsstillende nøjagtighed ved løsningen, kan der derfor kun opnås 2 værdier for F_1 og $Q_M + \sum Q_i$ ved en sådan 13-timers måling.

Værdierne opnået ved at benytte henholdsvis ligning (2) og (4) kan endelig sammenlignes, og derved kan opnås et skøn over antagelsernes godhed.

Uanset at F_1 afhænger af middelvandstanden ved Gøl Bro, er F_1 regnet konstant, hvilket er en god tilnærmelse, når der ikke optræder ekstreme vandstande, jfr. regulativet, hvor det kan ses, at den fri vandoverflade i åens hovedløb kun vokser ca. 3%, når middelvandstanden stiger 20 cm.

6.4 Beregningsprocedure ved variabel middelvandstand

Når middelvandstanden ændrer sig i måleperioden benyttes, at middelvandstandsændringer ifølge [1] forplanter sig praktisk taget usvækket op gennem hele Nedre Ry Å. Benævnes middelvandstanden \bar{h}_{13} og da tidsbevægelserne overlejrer middelvandstandsbevægelsen, kan man af nedenstående figur indse, at hvis

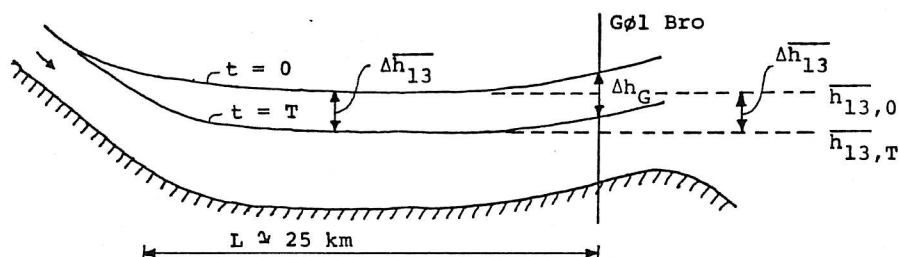
$$\Delta h_G (= h_{G,T} - h_{G,O}) = \Delta \bar{h}_{13} (= \bar{h}_{13,T} - \bar{h}_{13,O})$$

efter et tidsrum T , så er vandspejlet i Nedre Ry Å parallelforskuet stykket $\Delta \bar{h}_{13} = \Delta h_G$ og ændringen i magasineringen kan udtrykkes som

$$\Delta X = X_T - X_O = F_2 \cdot \Delta \bar{h}_{13} = F_2 \cdot \Delta h_G$$

hvor F_2 er et ukendt regningsmæssigt magasineringsoverfladeareal svarende til ændringer i middelvandstanden.

Ved at indsætte dette i ligning (2), og anvende denne på 2 måleperioder, hvor forskellen mellem $Q_M + \sum Q_i$ kan skønnes med rimelig sikkerhed, og derefter subtrahere den ene ligning fra den anden, opstår således en ny ligning, hvor F_2 er den eneste ubekendte. Når F_2 er fundet kan værdierne af $Q_M + \sum Q_i$ findes for de to måleperioder.



I de på figuren skitserede situationer (sommer) vil vandet løbe indad ved Gøl Bro både til $t = 0$ og $t = T$.

Ligesom F_1 afhænger F_2 af middelvandstanden, men denne afhængighed er det ikke praktisk rimelig at finde, så længe middelvandstanden ikke afviger betydeligt fra D.V.

Dog skal gøres opmærksom på, at når middelvandstanden bliver meget høj (ca. 40 cm over D.V.) begynder F_2 at vokse betragteligt, fordi visse engarealer ved åen oversvømmes.

Endvidere må F_2 kun forventes at afhænge svagt af årstiden, da ændringer i middelvandstanden forplanter sig usvækket op til Toftegårds Bro hele året ifølge [1].

6.5 Beregnede vandføringer og afstrømninger

Ved anvendelse af kontinuitetsligningen som angivet i det foregående, beregnedes værdierne angivet i skema 1.

Skema 1

dato	tidsrum for midling	$\frac{dh_{13}}{dt}$	\overline{Q}_G m ³ /s	\overline{m}_S kg/s	S_b o/oo	\overline{Q}_M m ³ /s	\overline{Q}_F m ³ /s	\overline{Q}_S m ³ /s	$\overline{Q}_M + \sum \overline{Q}_i$ m ³ /s	$\overline{q}_G = \frac{\overline{Q}_M + \sum \overline{Q}_i}{A_G}$ l/s/km ²	$\overline{q}_M = \frac{\overline{Q}_M}{A_M}$ l/s/km ²
23.4	11 ⁴⁵ -18 ⁵⁰	~0	5,0	~0	~0	1,4	5,0	~0	2,9	5,0	4,9
15.8	6 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	~0	1,3	-2,0	21,9	1,2	1,4	-0,1	1,6	2,7	4,2
22.8	6 ⁰⁰ -16 ²⁰	>0	0,4	2,9	20,0	1,1	0,3	0,1	1,7	2,9	3,9
28.8	6 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	<0	2,9	13,9	22,4	1,1	2,3	0,6	1,6	2,7	3,9
18.12	7 ⁰⁰ -18 ⁴⁰	<0	15,3	20,2	23,0	4,8	14,4	0,9	13,5	23,1	16,8

samt $F_1 = 40 \cdot 10^4 \text{ m}^2$
 $F_2 = 70 \cdot 10^4 \text{ m}^2$, begge værdier gældende for $h_G = 67 \text{ cm} \pm \text{ca. } 20 \text{ cm}$.

Til ovenstående talværdier skal knyttes følgende kommentarer:

- 1) Ved beregning af afstrømningsintensiteterne \overline{q}_G og \overline{q}_M blev benyttet, at oplandsarealerne er henholdsvis $A_G = 585 \text{ km}^2$ og $A_M = 285 \text{ km}^2$.
- 2) Værdien af F_1 blev beregnet som beskrevet i afsnit 6.3 ud fra målingerne den 15.8.74, som et gennemsnit mellem to værdier, der kun afveg ca. 15% fra hinanden. Da tidevandspåvirkningen i åen afhænger stærkt af grøden, kan ovenstående værdi af F_1 kun benyttes i grødeperioden.

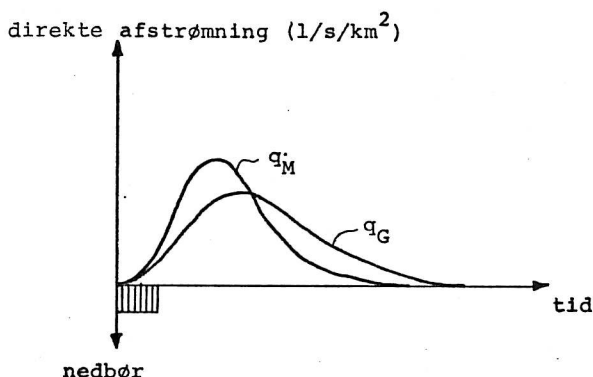
De tilhørende beregnede værdier af afstrømningen $\overline{Q}_M + \sum \overline{Q}_i$ var 1,5 m³/s om formiddagen og 2,0 m³/s om eftermiddagen. Disse værdier skulle sammenlignes med $\overline{Q}_G = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$, se skema 1, idet denne værdi

blev beregnet over et tidsrum, hvor magasineringen var nul. Forklaringen på den ret ringe overensstemmelse antages at have været en stigning i middelvandstanden om formiddagen ved Gøl Bro, i stedet for konstant middelvandstand som antaget, idet dette kan forklare, hvorfor Q_G -værdierne var så små fra kl. 10-14. Disse små Q_G -værdier kunne også have været forklaret ved en ændring i afstrømningen $Q_M + \sum Q_i$, men dels skulle ændringen have været så stor som ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ og dels kunne en sådan ændring dårligt begrundes, hvorfor der blev set bort fra denne mulighed. Den i skema 1 angivne værdi af $\overline{Q_M + \sum Q_i}$ er middelværdien af værdierne 1,3, 1,5 og $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

- 3) Værdien af F_2 blev fundet som angivet i afsnit 6.4 ud fra målingerne den 22.8. og 28.8., idet der skønnedes, at $Q_M + \sum Q_i$ aftog ca. $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ mellem de to målinger. Grundlaget for dette skøn var, at $\overline{Q_M}$ var målt uændret, hvorimod $\sum Q_i$ måtte forventes at være aftaget lidt, idet der var tørvejr i tidsrummet mellem målingerne, og yderligere var middelvandstanden i åen den 28.8. ca. 20 cm højere end den 22.8. Det blev iøvrigt konstateret, at F_2 kun ville have ændret sig ca. 5%, hvis skønnet for ændringen i $\overline{Q_M + \sum Q_i}$ i stedet havde været $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Til vurdering af størrelsesordenen af F_1 og F_2 kan nævnes, at mellem Gøl Bro og Alstrup Bro er overfladearealet af selve åen ca. $48 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ ifølge regulativet.

- 4) Som nævnt er oplandet til Gøl Bro ca. dobbelt så stort som oplandet til Manna Bro. Derfor må formodes, at forsinkelsestiden for enhedshydrografens maksimum er størst ved Gøl Bro, hvilket benyttes ved optegnelse af nedenstående principielle skitse, der for en given nedbør viser variationen af den direkte afstrømning ved Manna Bro og Gøl Bro. Skitsen baserer sig endvidere på, at nedbøren er faldet jævnt over hele oplandet, således at arealerne under de to kurver skal være ens.



Til vurdering af afstrømningsintensiteterne fundet den 15.8. og 18.12.74 kan det endvidere have interesse at vide, hvor lang tid der går, inden afstrømningen igen når ned til det niveau, den havde inden nedbøren. Dertil benyttes, at efter ca. 1 måneds tørvejr faldt der den 3.5.74 ca. 20 mm nedbør, hvorefter tørvejret fortsatte. Af Hedeselskabets vandføringstal ved Manna Bro kan ses, at efter ca. 8 dage nåede vandføringen igen ned på startværdien ca. 1280 l/s . Da der i dagene den 10.8.-15.8. faldt ca. 27 mm nedbør over oplandet til Ry Å og maksimal vandføring ved Manna Bro forekom den

15.8., så måtte det ifølge ovenstående skitse forventes, at $q_M > q_G$ den 15.8.74. Endvidere måtte man, da døgnmiddel $\overline{q_M}$ i dagene 17., 18. og 19.12.74 aftog kraftigt (ca. 3 l/s/km² pr. dag), ifølge ovenstående skitse forvente, at $q_G > q_M$ den 18.12.74.

- 5) I perioden 10.8.- 28.8. blev den sidste væsentlige nedbør som tidligere nævnt registreret den 15.8., idet der i den resterende del af perioden kun faldt ca. $2 \times \frac{1}{2}$ mm nedbør, hvilket var mindre end den daglige fordampning på ca. 3 mm/dag. Virkningen af nedbøren på vandføringen ved Manna Bro skulle derfor ifølge punkt 4 være klinget ud ca. den 23.8., og vandføringen igen have nået den værdi, der fandtes ca. den 9.8. Dette var imidlertid ikke tilfældet, idet man af bilag 10 kan se, at helt til den 28.8. lå vandføringen ca. 0,2 m³/s over værdien fra den 9.8., hvilket svarede til ca. 20% forøgelse. Denne forøgede tilstrømning ved Manna Bro skønnedes hovedsageligt at være forårsaget af grødeskæring opstrøms for Manna Bro, som antaget i nedenstående. Grødeskæringen foregik med strømmen (ca. 500-600 m pr. dag), og der blev skåret grøde ved Manna Bro ca. den 28.8. Ved grødeskæringen sænkedes vandstanden i åen ca. 30-40 cm, og dette bevirkede en ret langsom udtømning af den øverste del af grundvandsreservoiret i nærheden af åen. Da længden af den strækning, hvor grøden var skåret, voksede med ovennævnte ca. 500-600 m pr. dag, blev resultatet derfor en gradvis voksende tilstrømning ved Manna Bro i dagene indtil den 28.8.74.
- 6) Den 18.12. blev $\overline{Q_G}$ påvirket af den pumpestation, som afvander Gøl Bæk. Som vist på bilag 1 ligger bækken og dermed pumpestationen umiddelbart opstrøms for Gøl Bro (afstand ca. 200 m). Under alle målingerne denne dag blev konstateret, at de 2 østligste af pumpestationens pumper kørte. Da hver pumpe har en kapacitet på ca. 1 m³/s ved 2 m løftehøjde, kunne derved slutes, at $\overline{Q_G}$ og dermed $\overline{Q_M} + \sum \overline{Q_i}$ denne dag blev overvurderet ca. $2,0 - 0,4 = 1,6$ m³/s, idet den "normale" vandføring fra Gøl Bæks opland, ud fra afstrømningen målt ved Manna Bro, kunne skønnes til ca. $q_M \cdot A_{Gøl\ Bæk} = 16,8 \cdot 24,2 = 406$ l/s $\approx 0,4$ m³/s.
- 7) Endelig var middelvandstanden den 18.12.74 så høj, at der umiddelbart opstrøms for Gøl Bro var et oversvømmet område med et overfladeareal på ca. $60 \cdot 10^4$ m², og muligvis har der været flere oversvømmede områder længere opstrøms. Da $F_2 +$ ovennævnte oversvømmede areal gav $\frac{1}{T}[X_T - X_0] = -1,8$ m³/s i ligning (2), og evt. yderligere oversvømmede arealer derved ville bevirke, at ovennævnte "magasineringsvandføring" numerisk ville vokse, måtte den beregnede værdi af $\overline{Q_M} + \sum \overline{Q_i}$ formodes at være større end eller lig med den virkeligt forekommende værdi.

6.6 Beregning af ugemidler af vandføring og afstrømning ved Gøl Bro

Når de i afsnit 6.5 nævnte 7 punkter tages i betragtning kan slutes, at der normalt vil være god overensstemmelse mellem døgnmidler af af-

strømningsintensiteterne ved Manna Bro og Gøl Bro, undtagen i situationer, hvor afstrømningsintensiteterne varierer kraftigt, d.v.s. i situationer som vist på skitsen af et afstrømningsforløb i afsnit 6.5. Idet varigheden af et afstrømningsforløb ved Manna Bro er ca. 8 dage, kan endvidere sluttet, at hvis ugemidler beregnes af afstrømningsintensiteterne ved henholdsvis Manna Bro og Gøl Bro, så kan der forventes en god overensstemmelse mellem disse ugemidler selv i de perioder, hvor afstrømningsintensiteterne varierer kraftigt.

Ifølge ovenstående kan ugemiddel af afstrømningen $\overline{Q_M + \Sigma Q_i}$ ved Gøl Bro derfor beregnes som

$$\overline{Q_M + \Sigma Q_i} = \overline{q_M} \cdot A_G, \quad \text{hvor } \overline{q_M} \text{ er ugemiddel af } q_M.$$

Når ugemiddel af afstrømningen er kendt, kan ugemiddel af ferskvandsvandføringen ved Gøl Bro derefter findes af kontinuitetsligningen midlet over en uge (ligning (2)):

$$\overline{Q_M + \Sigma Q_i} = \overline{Q_F} + \overline{Q_S} + \frac{1}{T}[X_T - X_0], \quad \text{hvor } T = 1 \text{ uge}$$

$$\Leftrightarrow \overline{Q_F} = \overline{Q_M + \Sigma Q_i} - \overline{Q_S} - \frac{1}{T}[X_T - X_0]$$

Ugemiddel af saltvandsvandføringen ved Gøl Bro, $\overline{Q_S}$, er ikke forsøgt beregnet eksakt, da dette kræver omfattende beregninger, hvis hensyn skal tages til barren udenfor munden af åen. I stedet er foretaget nogle skøn, som viser, at $\overline{Q_S}$ normalt er betydeligt mindre end de andre led i ovenstående kontinuitetsligning.

Da kun ændringer i saltvolumenet opstrøms for Gøl Bro vil bevirke at $\overline{Q_S} \neq 0$, kan en øvre grænse for $\overline{Q_S}$ (ugemiddel) tilnærmet beregnes til $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ svarende til, at en maksimal saltvandskile ved ugens start forsvinder helt i løbet af ugen.

Da den maksimale saltvandskile forekommer om sommeren, hvor variationerne i vandføringen er små, er ovenstående hændelse ret usandsynlig, selv om store ændringer i middelvandstanden skulle forekomme. En rimelig maksimalværdi af $\overline{Q_S}$ (ugemiddel) er nok nærmere ca. $0,1-0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, fremkaldt af en middelvandstandsændring.

Om vinteren kan en mindre saltvandskile godt tænkes at forsvinde helt i løbet af en uge, enten på grund af en ændring i middelvandstanden og/eller en ændring i vandføringen, men den maksimale $\overline{Q_S}$ vil også her være af størrelsesordenen $0,1-0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, fordi saltvandskilen er mindre end om sommeren.

Af ovenstående kan ses, at ugemiddel af saltvandsvandføringen ved Gøl Bro altid er lille i forhold til ugemiddel af afstrømningen $\overline{Q_M + \Sigma Q_i}$.

Ændringen af magasineringen i ugens løb kan som tidligere vist findes ved at beregne ændringen i middelvandstand og multiplicere med det regningsmæssige magasinoverfladeareal F_2 , således at

$$X_T - X_0 = F_2 (\overline{h_{13,T}} - \overline{h_{13,0}}).$$

Hvis $\overline{h_{13}}$ ligger mindre end ca. 20-30 cm over D.V. er $F_2 \approx 70 \cdot 10^4 \text{ m}^2$, og indsættes dette i den ugemidlede kontinuitetsligning får man:

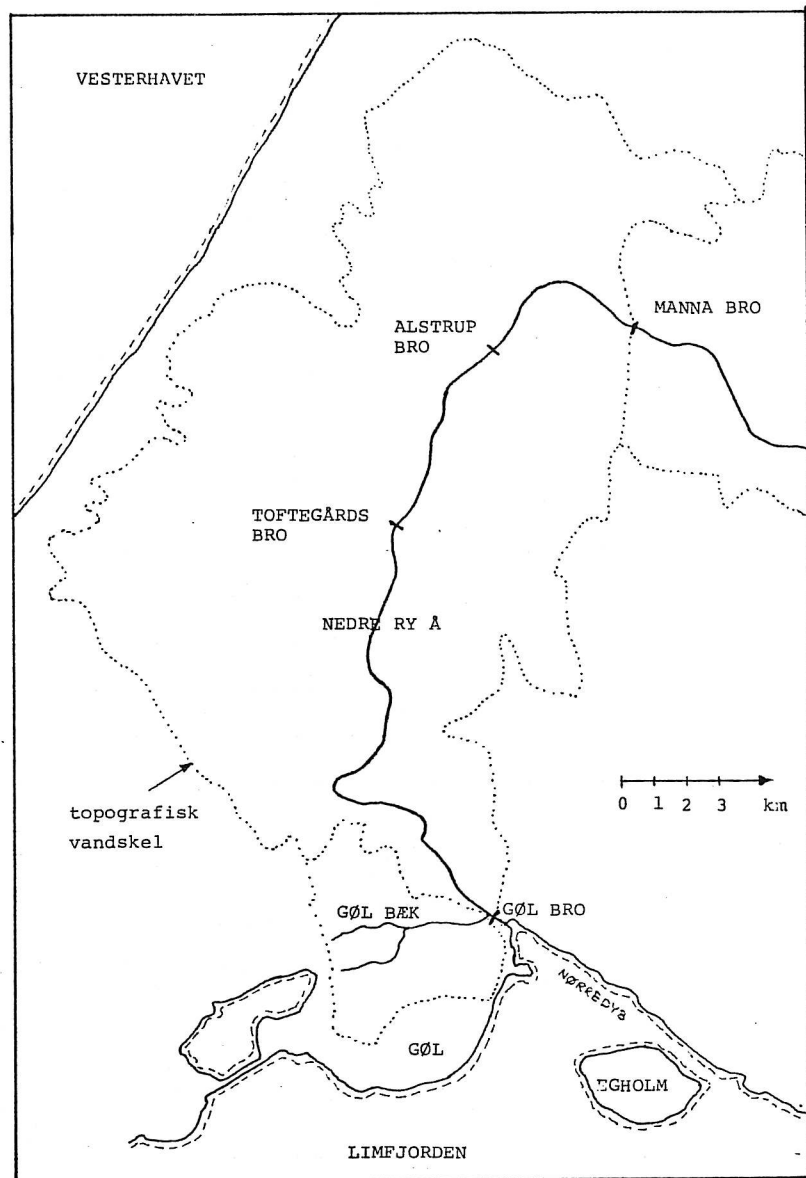
$$\overline{Q_F} = \overline{Q_M} + \sum \overline{Q_i} - \overline{Q_S} - 1,16 (\overline{h_{13,T}} - \overline{h_{13,O}}) \text{ m}^3/\text{s}$$

,hvor $\overline{h_{13}}$ indsættes i m.

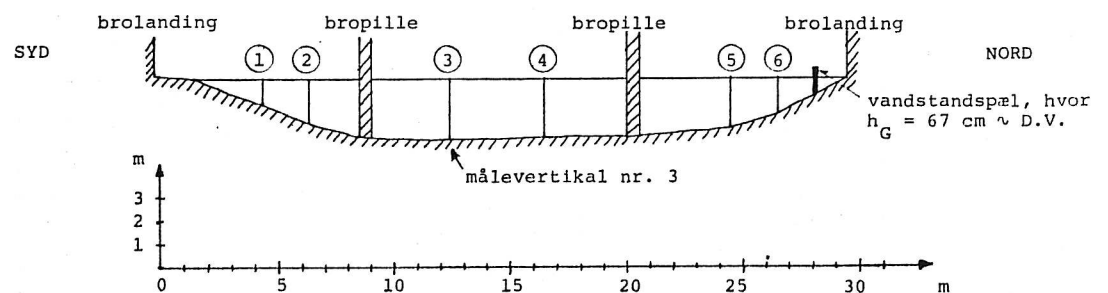
Da $\overline{Q_S}$ som nævnt ovenfor afhænger stærkt af middelvandstandsændringen $\overline{h_{13,T}} - \overline{h_{13,O}}$, og maksimalværdien er ca. 0,1-0,2 m /s, ses det, at $\overline{Q_S}$ normalt også er betydeligt mindre end sidste led i kontinuitetsligningen.

Af ovenstående kan derfor konkluderes, at ugemiddel af ferskvandsvandføringen ved Gøl Bro med god tilnærmelse kan beregnes af udtrykket:

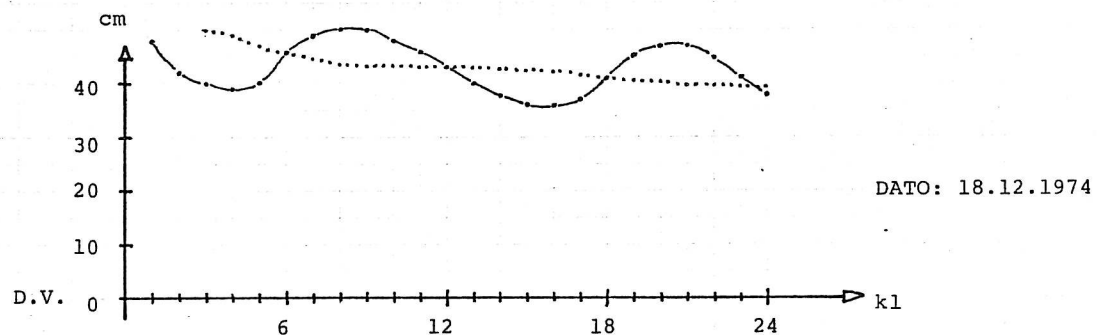
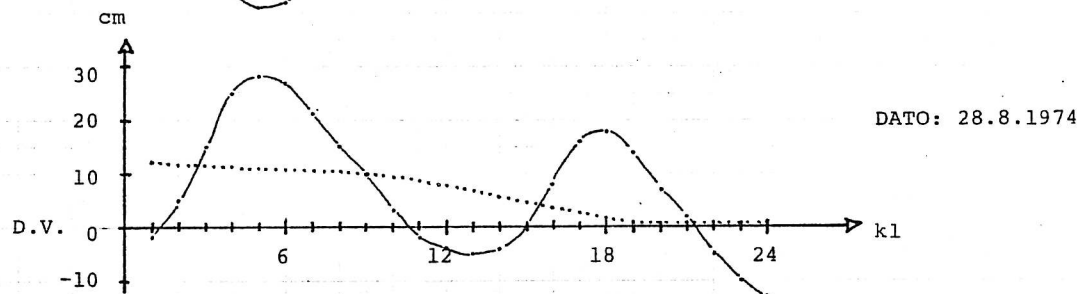
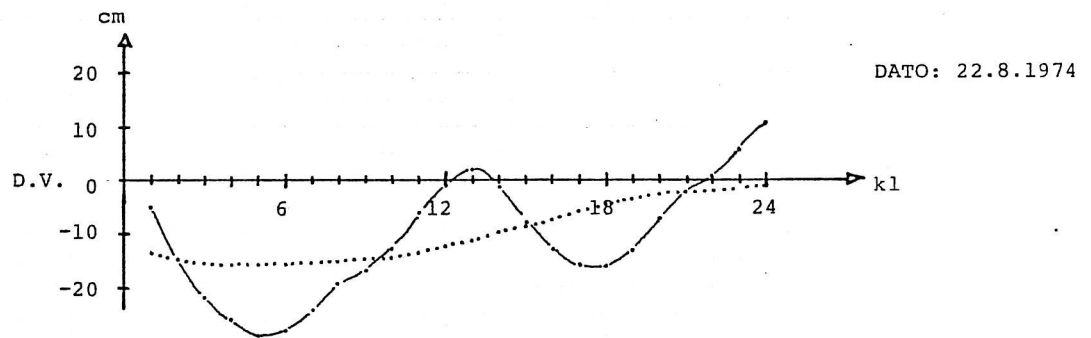
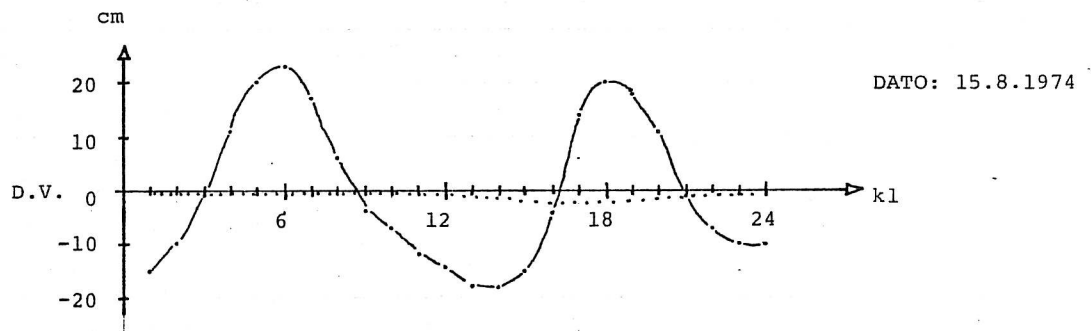
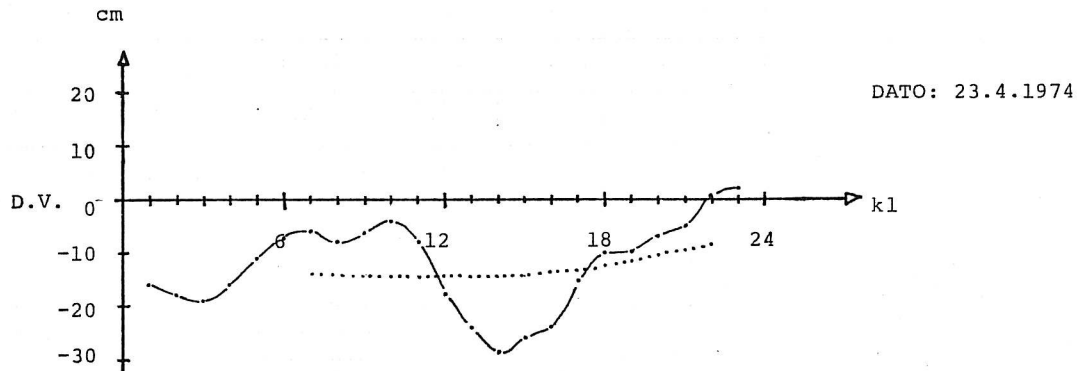
$$\overline{Q_F} \approx \overline{Q_M} + \sum \overline{Q_i} - \frac{1}{T} [X_T - X_O] = \overline{q_M} \cdot A_G - \frac{F_2}{T} [\overline{h_{13,T}} - \overline{h_{13,O}}]$$



TVÆRSNIT I RY Å ved GØL BRO (august 1974)

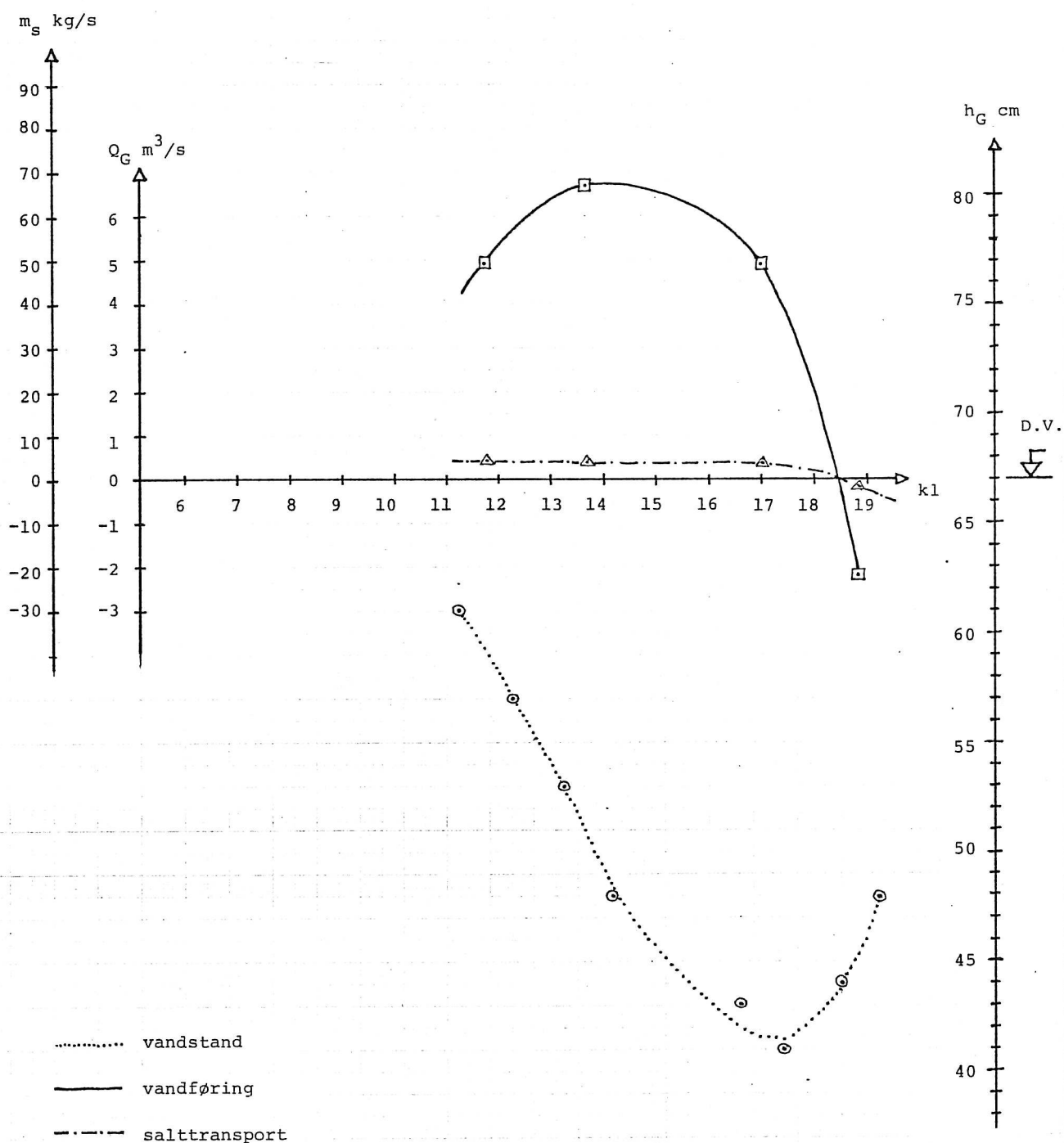


VANDSTANDSVARIATION, ØSTRE HAVN, AALBORG



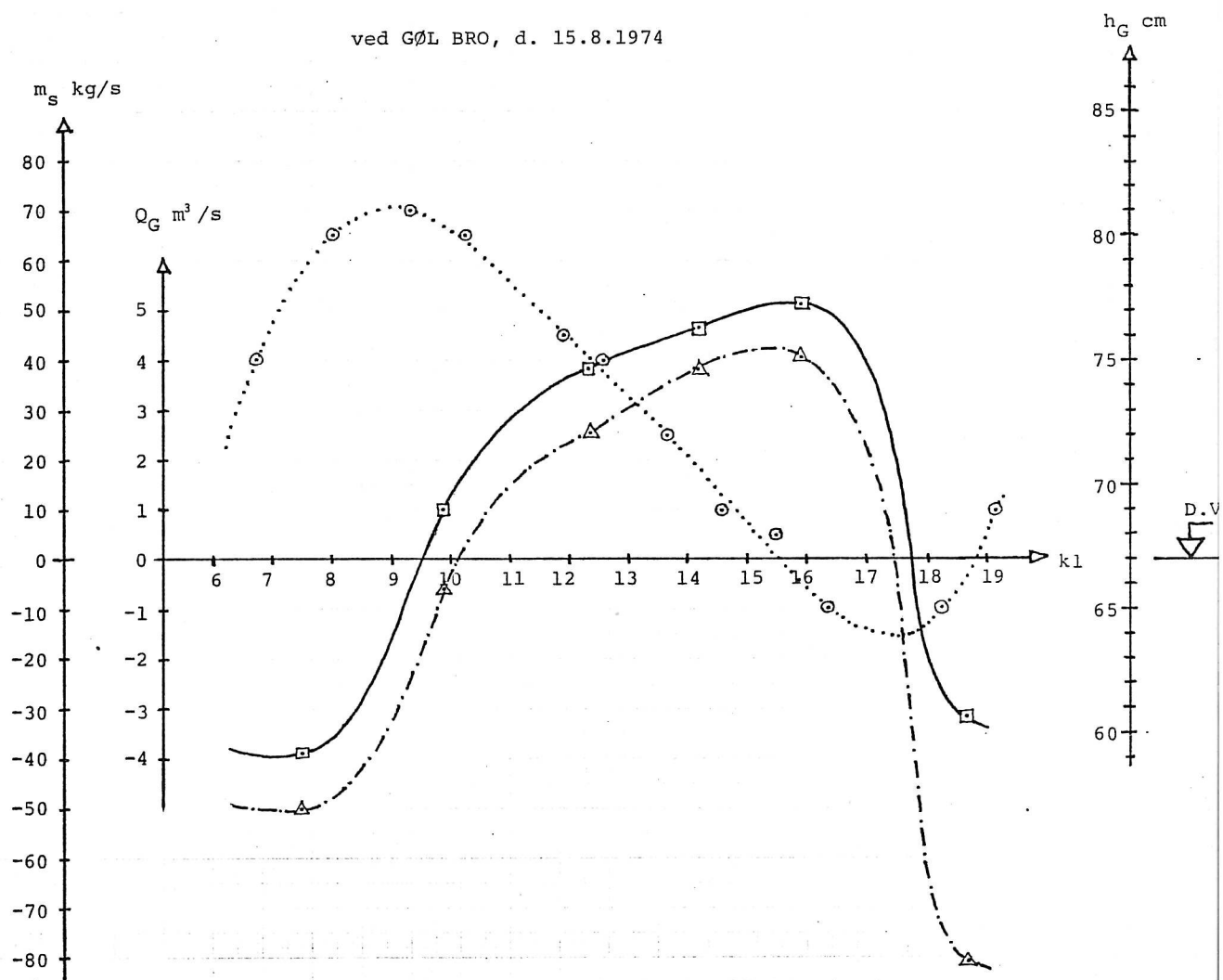
registreret vandstand: — — — — — 13-timers gennemsnit: ·······

VANDSTAND, VANDFØRING og SALTTRANSPORT
ved GØL BRO, d. 23.4.1974.



VANDSTAND, VANDFØRING og SALTTRANSPORT

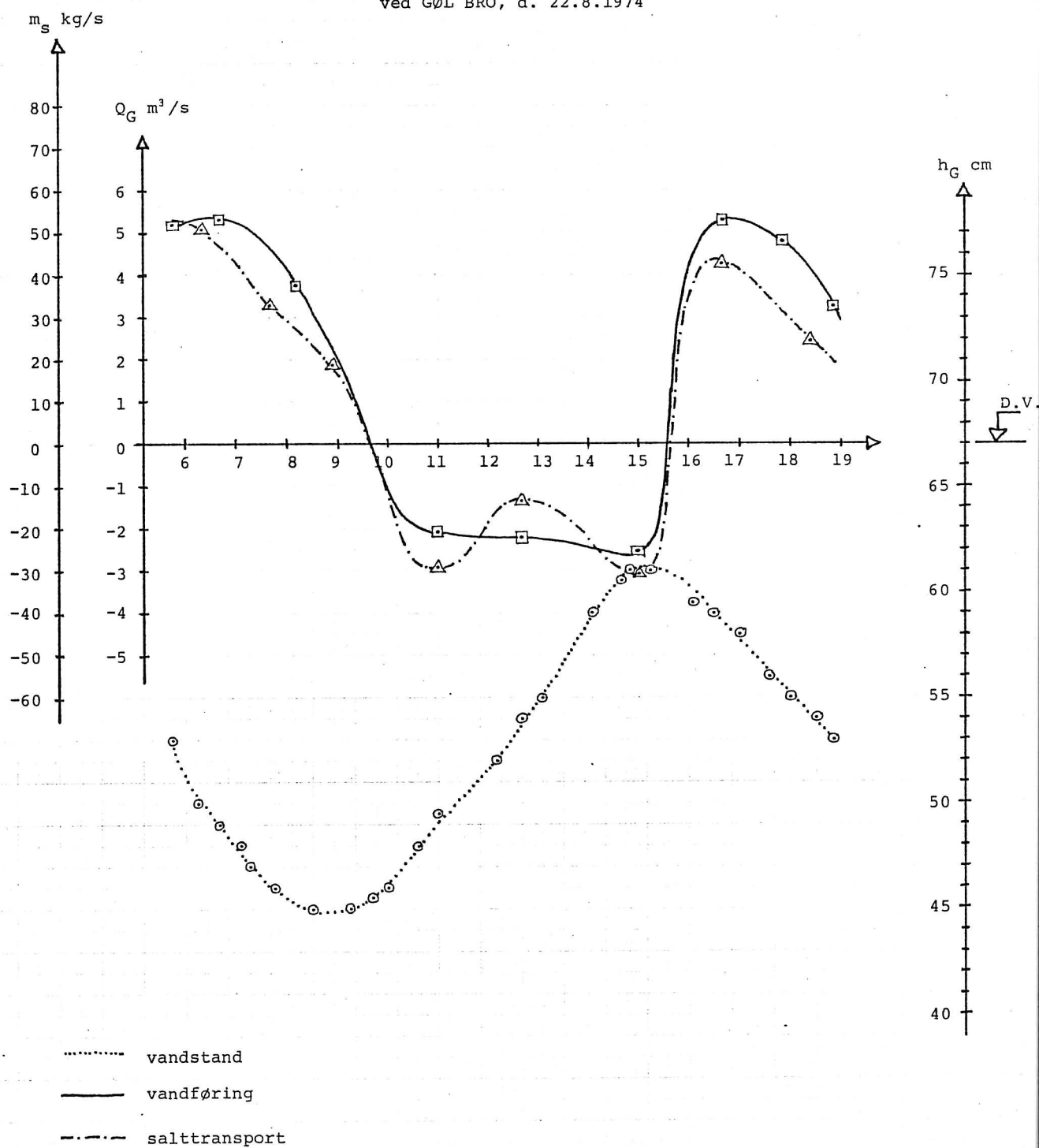
ved GØL BRO, d. 15.8.1974



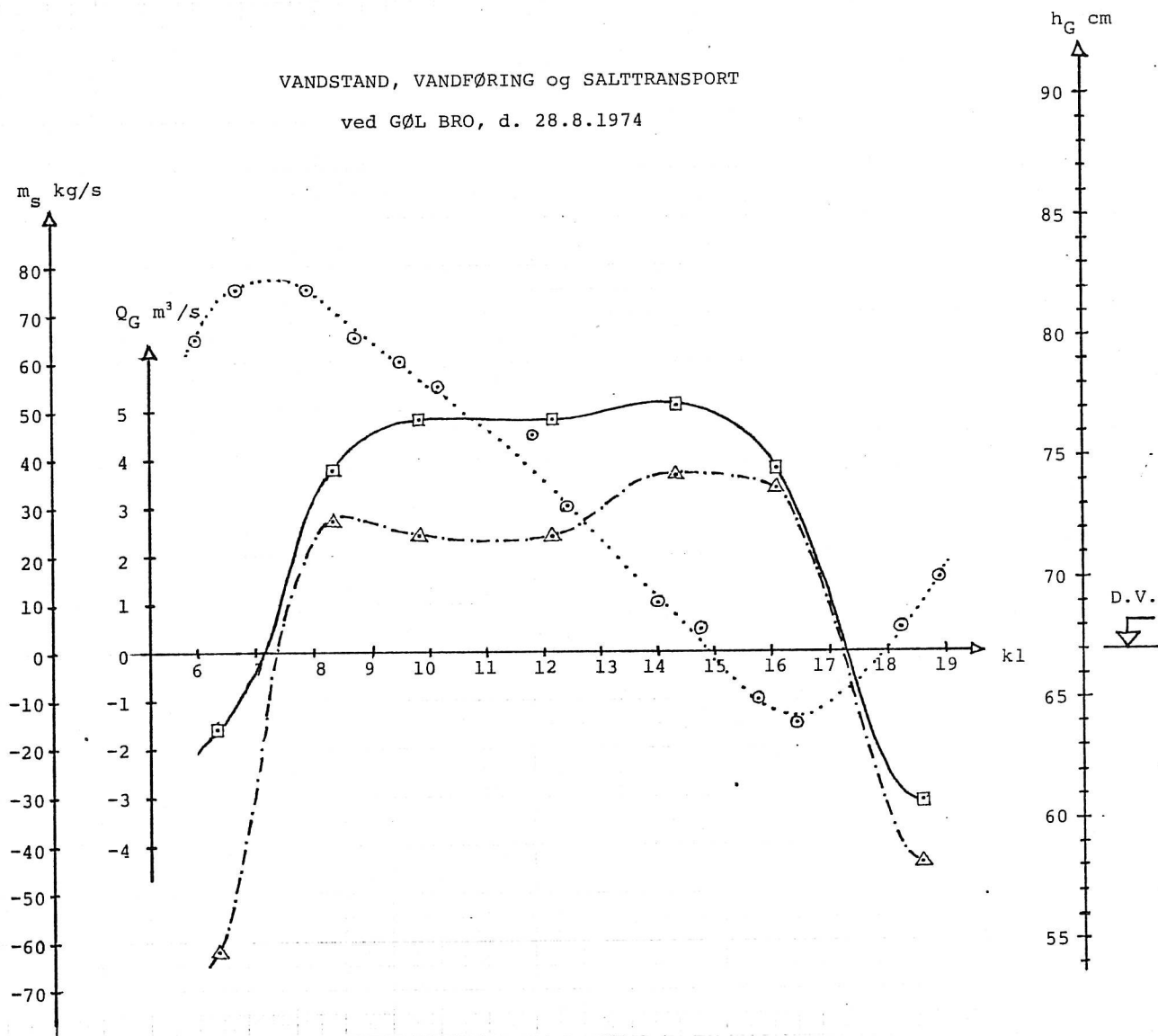
..... vandstand
 — vandføring
 - · - salttransport

VANDSTAND, VANDFØRING og SALTRANSPORT

ved GØL BRO, d. 22.8.1974



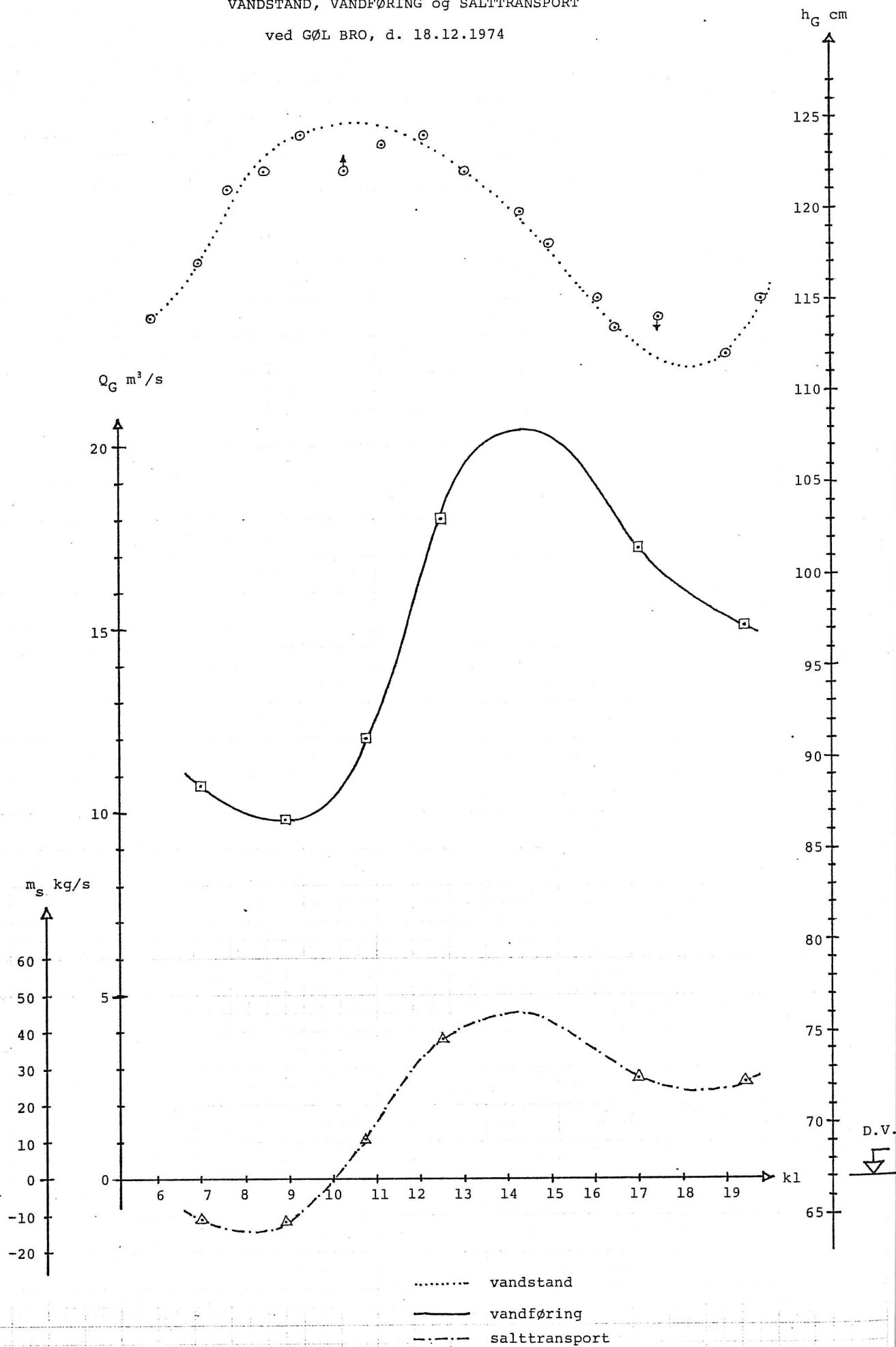
VANDSTAND, VANDFØRING og SALTTRANSPORT
ved GØL BRO, d. 28.8.1974



- vandstand
- vandføring
- · - · - salttransport

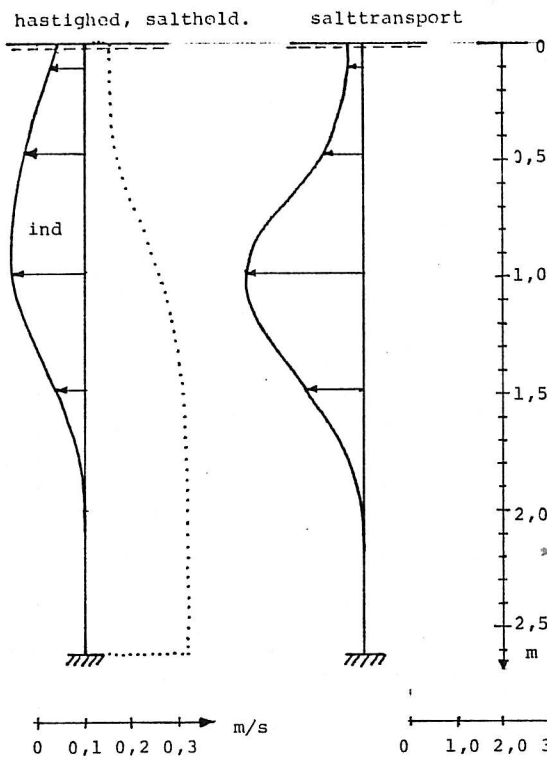
VANDSTAND, VANDFØRING og SALTTRANSPORT

ved GØL BRO, d. 18.12.1974

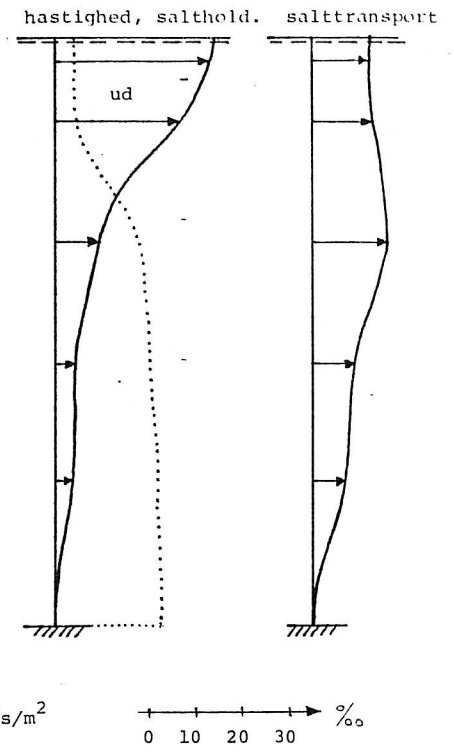


d. 15.8.1974, VERTIKAL ④, GØL BRO.

kl. 7³⁰, stigende vandstand

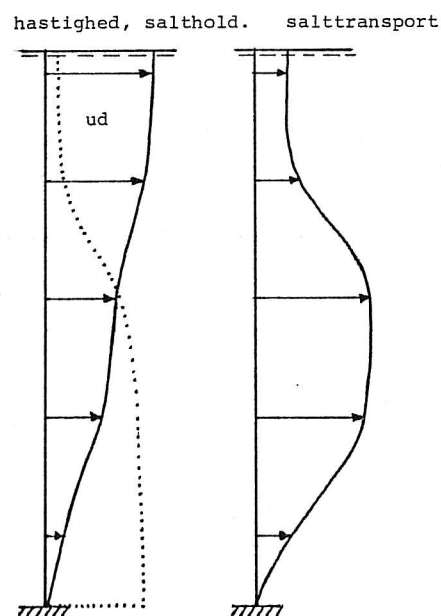


kl. 15⁰⁰, faldende vandstand.

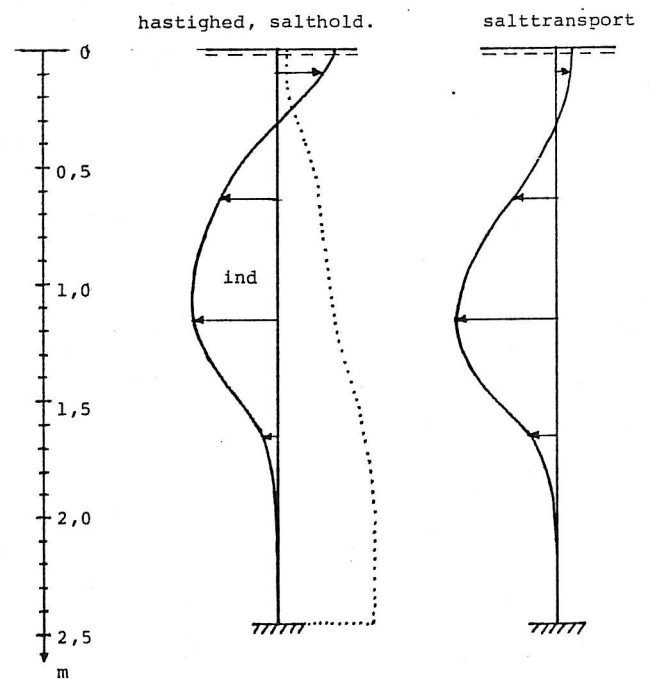


d. 22.8.1974, VERTIKAL ④, GØL BRO.

kl. 6²⁰, faldende vandstand.



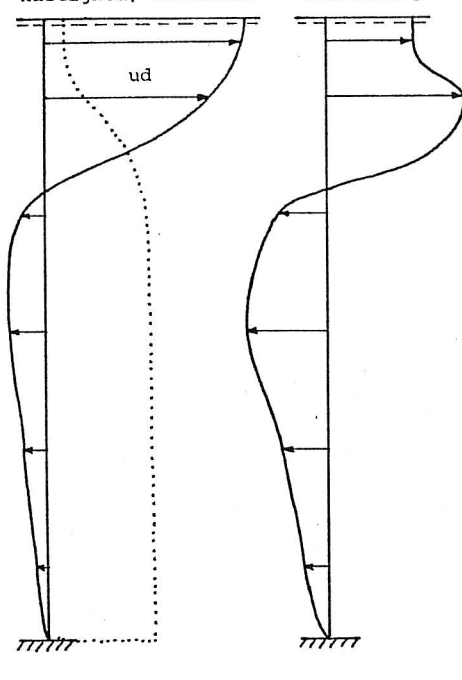
kl. 14⁵⁵, stigende vandstand.



samme målestokke som ovenfor.

d. 28.8.1974, VERTIKAL (4), GØL BRO

kl. 8³⁰, faldende vandstand
hastighed, salthold. salttransport



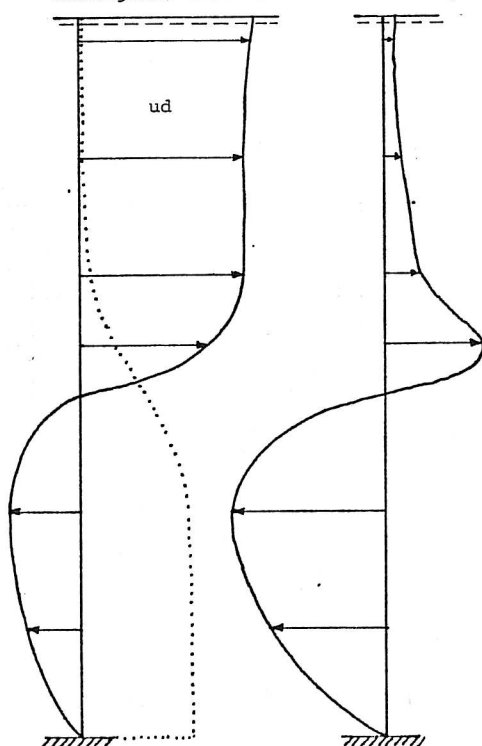
0 0,1 0,2 0,3 0,4 m/s

0 1,0 2,0 3,0 kg/s/m²

0 10 20 30 ‰

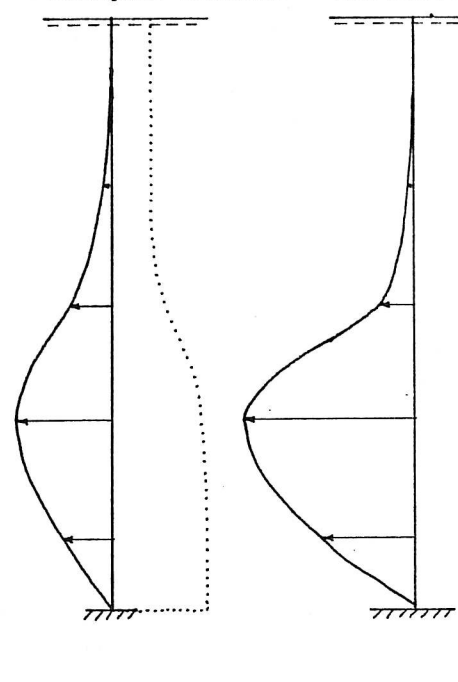
d. 18.12.1974, VERTIKAL (4), GØL BRO

kl. 8⁵⁵, stigende vandstand
hastighed, salthold. salttransport

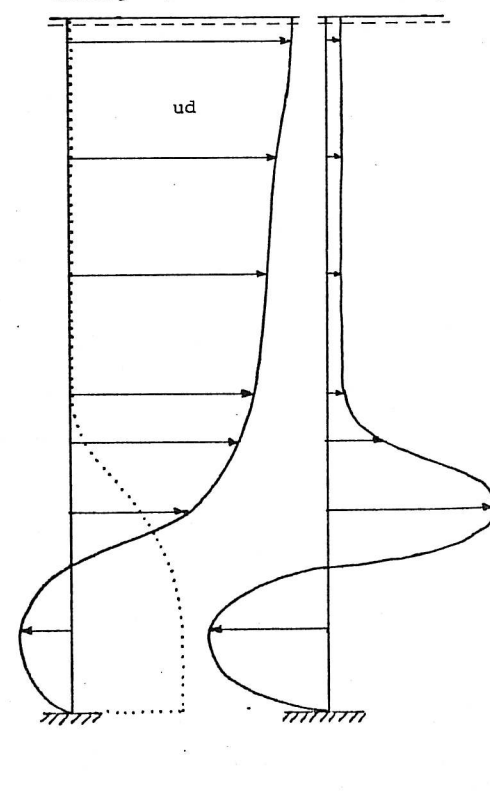


samme målestokke som ovenfor.

kl. 18³⁰, stigende vandstand
hastighed, salthold. salttransport



kl. 17⁰⁰, faldende vandstand
hastighed, salthold. salttransport



Måleresultater fra Manna Bro

dato	vandstand cm	vandføring m ³ /s
22.4.74	61	1,35
12.8.74	107	1,02
14.8.74	113	1,18
19.8.74	109	1,07 ^x
19.12.74	117	3,98

x måling den 19.8.74 udført af Hedeselskabet.

Beregnete døgnmidler $\overline{Q_M}$ ved Manna Bro

dato	vandstand cm	vandføring m ³ /s
23.4.74	61	1,35
9.8.74	98	0,88
15.8.74	118	1,22
22.8.74	112	1,12
26.8.74	113	1,09 ^{xx}
28.8.74	102	1,08 ^{xx}
17.12.74	-	5,75 ^{xx}
18.12.74	129	4,76
19.12.74	117	3,98

xx foreløbig værdi opgivet af Hedeselskabet.

Referencer

- [1] Ry Å, delrapport 1: Vandføring, November 1972. Udarbejdet af F. L. Schmidt til Nordjyllands Amtskommune.
- [2] Regulativ for Ry Å.
- [3] Døgnmidler af vandføring i Ry Å ved Manna Bro i perioden 1.1.- 30.9.74, opgivet som foreløbige værdier af Det Danske Hedeselskab.